



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГКНТ СССР

(19) SU (11) 1778529 A 1

(51)5 G 01 F 1/00, 1/78

СЕСОЮЗНАЯ  
РАТЕНТНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4846354/10  
(22) 03.07.90  
(46) 30.11.92. Бюл. № 44  
(71) Научно-исследовательский институт  
прикладной механики и Научно-производст-  
венное объединение "Ротор"  
(72) Д.М. Зайцев и Л.Г. Эткин  
(56) Авторское свидетельство СССР  
№ 1362708, кл. G 01 F 1/00, 1/78, 1986.

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАС- СОВОГО РАСХОДА ЖИДКОСТИ

(57) Использование: изобретение относится  
к измерительной технике, а именно к вибра-  
ционным преобразователям, и предназна-  
чено преимущественно для измерения  
массового расхода жидкости. Сущность изо-  
бретения: устройство содержит основание,  
трубчатый вибратор [-образной формы, ко-  
торый снабжен узлами подвода и отвода  
жидкости, выполненными в виде сильфо-

2

нов. Между концами каждого патрубка раз-  
мещены кронштейны, средние части кото-  
рых связаны с основанием первыми  
торсионными элементами с обеспечением  
возможности поворота кронштейнов в пло-  
скости, перпендикулярной плоскости раз-  
мещения патрубков. Концы каждого  
патрубка связаны с соответствующим крон-  
штейном вторыми торсионными элемента-  
ми [-образной формы с обеспечением  
возможности поворота патрубков в пло-  
скости, перпендикулярной плоскостям разме-  
щения патрубков и поворота кронштейнов.  
В состав устройства входят также блоки воз-  
буждения и съема колебаний, подключенные  
к электронному блоку. Устройство  
обеспечивает измерение массового расхода  
жидкости, при этом конструкция устройства  
обеспечивает исключение напряжений из-  
гиба в патрубках, что повышает надежность  
и безопасность работы устройства. 16 ил.

Изобретение относится к измеритель-  
ной технике, а именно к вибрационным пре-  
образователям, и может быть использовано  
для непрерывного измерения массового  
расхода различных жидкостей, например, в  
нефтедобывающей и нефтеперерабатываю-  
щей отраслях промышленности.

Известно устройство, содержащее  
фрагмент трубопровода и подключенные к  
последнему два патрубка петлеобразной  
формы, размещенные в параллельных пло-  
скостях и снабженные узлами подвода и от-  
вода потока жидкости. Кроме того,  
устройство содержит блоки возбуждения и  
съема колебаний патрубков, а также элек-  
тронный измерительный блок для обработки

полученной информации. В устройстве пат-  
рубки, по которым течет жидкость, являются  
одновременно упругими элементами, кото-  
рые осуществляют колебательные движе-  
ния под действием блока возбуждения  
колебаний. Вследствие возникновения  
в патрубках напряжений изгиба возможно  
растягивание патрубков, особенно в слу-  
чае, если измеряемая среда содержит хло-  
риды. Очевидно, что с возрастанием  
номинального значения давления жидкости  
в трубопроводе опасность растягивания  
возрастает, так как увеличение давления  
требует увеличения толщины стенок патруб-  
ков, а, следовательно, при сохранении по-  
стоянным значения амплитуды колебаний

(19) SU (11) 1778529 A 1

патрубков (для сохранения постоянной чувствительности устройства) увеличиваются и напряжения в стенках патрубков. При сохранении же напряжений в стенках патрубков постоянными по значению необходимо увеличение габаритных размеров устройства, а именно увеличение длины петель патрубков. Отмеченная особенность конструкции устройства является его недостатком.

Наиболее близким по технической сущности заявляемому устройству является устройство, содержащее основание, трубчатый вибратор, выполненный в виде двух симметрично в одной плоскости расположенных петлеобразно изогнутых патрубков с узлами подвода и отвода потока, блоки возбуждения и съема колебаний и электронный измерительный блок (прототип). В устройстве патрубки, по которым перемещается измеряемая среда, одновременно являются упругими элементами, которые осуществляют колебательные движения под действием блоков возбуждения колебаний, что вызывает в стенках патрубков изгибные напряжения и, следовательно, может вызвать растрескивание патрубков. Это снижает надежность и безопасность работы устройства, что является недостатком устройства.

Целью изобретения является повышение надежности и безопасности работы устройства за счет исключения в патрубках напряжений изгиба.

Цель достигается тем, что в устройстве для измерения массового расхода жидкости трубчатый вибратор выполнен [-образной формы и основание – в виде рамы, в стенках которой по периметру выполнен канал, а симметрично относительно продольной оси расположены две полки с окнами, через которые пропущены патрубки [-образного вибратора, концы которых соединены с каналом основания посредством введенных эластичных герметичных узлов, а перпендикулярно концам патрубков введены кронштейны с торсионными элементами, одни из которых закреплены в средней части кронштейнов, и связаны с соответствующими полками основания с возможностью поворота кронштейна в плоскости, перпендикулярной продольной плоскости концов патрубка вибратора, а вторые выполнены Z-образной формы, попарно сгруппированы и одними своими концами жестко закреплены на кронштейнах, а другими – на концах соответствующего патрубка с двух его противоположных сторон, при этом средние части Z-образных торсионных элементов расположены в перекрещивающихся пло-

скостях с обеспечением возможности поворота концов патрубков в плоскости, перпендикулярной оси кронштейна.

Признаками, отличающими заявляемый объект от известного, являются выполнение вибратора [-образной формы; выполнение основания в виде рамы, в стенках которой по периметру выполнен канал; две смонтированные на раме и расположенные симметрично продольной оси полки с окнами, через которые пропущены патрубки [-образного вибратора; соединение концов патрубков с каналом основания через эластичные герметичные узлы, например сильфоны; введенные перпендикулярно концам патрубков кронштейны с торсионными элементами, одни из которых закреплены в средней части кронштейнов и связаны с соответствующими полками основания с возможностью поворота кронштейна в плоскости, перпендикулярной продольной плоскости концов патрубков вибратора, а вторые торсионные элементы Z-образной формы попарно сгруппированы и одними своими концами жестко закреплены на кронштейнах, а другими – на концах патрубков с двух противоположных сторон, причем средние части Z-образных торсионных элементов расположены в перекрещивающихся плоскостях с обеспечением возможности поворота концов патрубков в плоскости, перпендикулярной оси кронштейна.

Выполнение основания в виде рамы позволяет конструктивно разделить элементы основания, выполняющие две различные функции: внешние элементы по контуру рамы являются каналами для подвода жидкости, а внутренние элементы рамы (полки) являются силовыми элементами и обеспечивают жесткое крепление первых торсионных элементов к раме, причем наличие полок позволяет исключить крепление торсионных элементов к элементам рамы, в которых выполнены каналы для подвода жидкости.

Окна в полках обеспечивают возможность взаимного размещения мерных участков [-образных патрубков на позициях, оптимальных для съема информации, т.е. позволяет регистрировать движение двух патрубков посредством одного чувствительного элемента, что повышает чувствительность, а, следовательно, и надежность работы устройства при малых значениях расхода жидкости.

Кронштейны, первые и вторые торсионные элементы обеспечивают упругое крепление патрубков [-образного вибратора к раме (основанию), а эластичные герметические узлы (сильфоны) обеспечивают эла-

стичное соединение концов патрубков с каналами, выполненными в раме, что повышает надежность и безопасность конструкции.

[образная форма патрубков вибратора обеспечивает возможность необходимых рабочих перемещений патрубков в двух ортогональных плоскостях, при этом в эластичных герметических узлах (сильфонах) возникают только изгибные напряжения, что повышает надежность и безопасность работы сильфонов.

Эффект, обусловленный отличительными признаками, заключается в следующем.

Заявляемая конструкция позволяет исключить в патрубках напряжения изгиба, поскольку патрубки в процессе работы устройства не деформируются вследствие наличия первых, вторых торсионных элементов эластичных узлов для крепления патрубков к трубопроводу (сильфонов). Таким образом, в данном случае имеет место разделение функций элементов устройства:

– функцию направляющих каналов для измеряемой среды выполняют патрубки и сильфоны;

– функцию упругих элементов, обеспечивающих закономерные упругие перемещения патрубков, выполняют первые и вторые торсионные элементы.

Следует отметить, что, поскольку в данном устройстве отсутствует упругая деформация патрубков, то отпадает необходимость выполнять патрубки тонкостенными, при этом сечение патрубков может быть произвольной формы (квадратной, многогранной и др.). Кроме того, отсутствие необходимости выполнять патрубки упругими и наличие торсионных элементов позволяет снизить габариты всего устройства, так как необходимые углы поворота патрубков (для уверенной фиксации колебаний патрубков) в заявлении устройстве обеспечиваются путем подбора жесткости торсионных элементов, а не увеличением длины петель патрубков.

Необходимо также отметить, что в заявлении устройстве отсутствует противоречие, свойственное большинству известных аналогичных устройств, а именно толщина стенок патрубков должна быть по возможности меньше для обеспечения амплитуды колебаний, достаточной для увереной фиксации состояния патрубков; толщина стенок патрубков должна быть по возможности больше для надежной и безопасной работы со средой, подаваемой под большим давлением.

Сильфоны, вследствие особенностей своей конструкции, испытывают значительно меньшие напряжения изгиба, чем гладкие цилиндрические трубы при тех же углах поворота, поэтому целесообразно их использовать в тех узлах конструкции, где обычно имеют место максимальные напряжения изгиба.

Таким образом, заявляемая конструкция позволяет повысить надежность и безопасность работы устройства вследствие устранения в нем упругих деформаций патрубков. Указанный эффект является новым техническим свойством устройства, но свойство является одним из признаков объекта, причем в данном случае существенным признаком, так как позволяет отличить заявляемый объект от других объектов такого же назначения. Следовательно, совокупность существенных признаков (отличительные признаки плюс технические свойства) заявляемого объекта нова и заявляемое решение соответствует критерию "существенные отличия".

На фиг. 1 изображена конструкция устройства для измерения массового расхода жидкости; на фиг. 2–7 – фрагменты и отдельные узлы устройства для измерения массового расхода жидкости; на фиг. 8 – схема прохождения потока измеряемой среды через заявляемое устройство; на фиг. 9–11 – схемы, поясняющие работу электронного измерительного блока заявляемого устройства; на фиг. 12а – кинематическая схема, поясняющая перемещение в пространстве патрубка 16 заявляемого устройства; на фиг. 12б, 12в, 12г, 13–15 – графики, поясняющие работу заявляемого устройства; на фиг. 16 изображена принципиальная схема блока 57 для обработки сигналов, формируемых электронным измерительным блоком заявляемого устройства.

Заявляемый объект реализован следующим образом.

На основании 1 смонтированы полки 2 и 3 (см. фиг. 1), к центральным частям которых жестко прикреплены соответственно торсионные элементы 4 и 5. Каждый торсионный элемент (см. фиг. 2) содержит основания 6 и 7, выполненные в виде дисков, которые связаны между собой четырьмя равномерно расположенными по окружности упругими балками 8. Изображенный на фиг. 2 торсионный элемент является упругим элементом, который обеспечивает взаимные угловые перемещения оснований 6 и 7 вокруг оси 0–0, но исключает взаимные угловые перемещения оснований 6 и 7 относительно осей, ортогональных оси 0–0. Торсионные элементы 4 и 5 крепятся к полкам

2 и 3 основаниями 6, к основаниям 7 крепятся кронштейны 9 и 10. Торсионные элементы 4 и 5 расположены в устройстве соосно и, таким образом, кронштейны 9 и 10 закреплены с возможностью взаимного поворота во взаимно параллельных плоскостях вокруг оси М-М (см. фиг. 1). К концевым частям кронштейнов 9 и 10 прикреплены сгруппированные попарно Z-образные упругие элементы, образующие торсионные элементы 11-14 (см. фиг. 1, 3, 4). Средние части (балки 15, см. фиг. 4) Z-образных упругих элементов каждой пары расположены в перекрещивающихся плоскостях, таким образом, каждая пара Z-образных упругих элементов образует упругий шарнир (торсионный элемент), осью вращения которой является ось F-F (L-L), см. фиг. 1, 3 (на фиг. 4 ось F-F перпендикулярна плоскости чертежа). Каждый Z-образный упругий элемент одним своим концом жестко прикреплен к патрубку 16 или 17. Таким образом, патрубок 16 крепится к кронштейну 9 посредством торсионных элементов 11 и 12, а патрубок 17 крепится к кронштейну 10 посредством торсионных элементов 13 и 14 (суть трубчатый вибратор), при этом патрубки 16 и 17 закреплены с возможностью угловых перемещений относительно кронштейнов 9 и 10, а именно патрубок 16 может перемещаться вокруг оси L-L (см. фиг. 1), а патрубок 17 – вокруг оси F-F, т.е. в плоскостях, перпендикулярных плоскостям вращения соответственно кронштейнов 9 и 10. На основании 1 (см. фиг. 1, 3) закреплены блоки для возбуждения колебаний 18-21, каждый из которых содержит сердечник 22 (постоянный магнит) и обмотку возбуждения 23 (см. фиг. 3), при этом каждый сердечник 22 размещен напротив соответствующего башмака 24, которыми снабжен каждый конец кронштейнов 9 и 10. В процессе функционирования устройства (при поступлении электрического тока в обмотку 23) башмак 24 притягивается или отталкивается сердечником 22. Таким образом, башмаки 24 и блоки 18-21 расположены так (в соответствии с фиг. 1), что при поступлении в обмотки блоков 18, 19 или 20, 21 синфазных переменных токов к кронштейнам 9 или 10 прикладываются пары сил, обеспечивающие колебания кронштейнов относительно оси М-М.

К полкам 2 и 3 прикреплены кронштейны 25 и 26, выполненные из магнитомягкого материала, на которых смонтированы (например, приклейены) чувствительные катушки 27 и 28 (см. фиг. 9 1, 5, 6, 7). К патрубкам 16 и 17 прикреплены соответственно магнитные системы 29, 30 и 31, 32 (см. фиг. 1,

5, 6, 7), каждая из которых содержит два постоянных магнита, магнитные потоки которых замыкаются через кронштейны 25 и 26 (на фиг. 6 стрелками изображен путь магнитного потока магнитной системы 31). Ориентация магнитных полюсов двух соседних магнитных систем (29 и 31) изображена на фиг. 7.

Магнитные системы 29 и 31 с чувствительной катушкой 27, а магнитные системы 30 и 32 с чувствительной катушкой 28 образуют четыре датчика скорости (четыре блока съема колебаний патрубков).

Основание 1 (см. фиг. 1) снабжено узлами 33 и 34 подвода и отвода жидкости, а в стенках основания 1 выполнены каналы 35, по которым протекает измеряемый поток жидкости. Концы патрубков 16 и 17 соединены с каналами 35 эластичными узлами 36-39 подвода и отвода потока жидкости, конструкция которых позволяет перемещаться патрубками относительно основания 1 в некоторых пределах, определяемых колебаний патрубков в процессе работы устройства, при этом узлы 36-39 могут быть выполнены, например, в виде сильфонов (см. фиг. 1, 4). Схема взаимного расположения всех элементов устройства, по которым протекает измеряемый поток жидкости, изображена (в плане) на фиг. 8.

Обмотки возбуждения блоков 18-21 и обмотки чувствительных катушек 27 и 28 подключены через электрический соединитель 40 (см. фиг. 1) к электронному блоку 41 возбуждения и измерения колебаний, устройство которого изображено на фиг. 9. Блок 41 содержит генератор 42 синусоидального сигнала, выход которого подключен к первому входу Вх 1 управляемого усилителя 43 мощности. К выходу усилителя 43 подключены блоки возбуждения колебаний 18-21, а к второму входу Вх 2 усилителя 43 подключена обмотка чувствительной катушки 27. Вход Вх 2 управляемого усилителя 43 мощности является входом обратной связи, и на него подается сигнал с позиции поддержания колебаний, т.е. с позиции, на которой поддерживается постоянным один из параметров колебаний – в данном случае скорость колебаний. В рассматриваемом устройстве поддерживается постоянной скорость колебаний позиций, на которых закреплены постоянные магниты 29 и 31 (взаимодействующие с обмоткой катушки 27). Генератор 42 и управляемый усилитель 43 представляет собой управляющий генератор, такие генераторы выпускаются серийно, и в данном случае может быть использован генератор Г3-104. ЕХ3.265.019 ТУ.

В состав блока 42 входят также нормирующие блоки 44 и 45, к входам которых подключены соответственно обмотки чувствительных катушек 27 и 28, выходы нормирующих блоков 44 и 45 подключены к входам блоков 46 и 47 формирования импульсов, а выходы блоков 46 и 47 подключены соответственно к первому Вх 1 и второму Вх 2 входам блока 48, выполняющего логическую функцию ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, т.е., на выходе блока 48 сигнал высокого уровня присутствует только в том случае, если на обеих входах блока 48 одновременно присутствует комбинация сигналов высокого и низкого уровней.

Блоки 44 и 45 обеспечивают на своих выходах постоянные по амплитуде сигналы при изменяющихся амплитудах сигналов на входах и могут быть выполнены, например, на основе устройства, схема которого изображена на фиг. 10, и носящего название "компрессор". Последний построен на делителе напряжения, составленном из резистора 49 и полевого транзистора 50, выполняющего функцию переменного резистора. Выход делителя соединен с прямым входом операционного усилителя 51, а выход операционного усилителя подключен к детектору 52, который формирует постоянный уровень управляющего сигнала. Выход детектора 52 подключен к затвору полевого транзистора 50. Управляющий сигнал меняет проводимость полевого транзистора 50, при этом при возрастании амплитуды входного сигнала транзистор 50 открывается сильнее, вследствие чего уменьшается амплитуда сигнала, поступающего на операционный усилитель 51.

Блоки 46 и 47 формируют последовательности прямоугольных импульсов, при чем временные характеристики указанных последовательностей (длительность импульса, скважность) являются функцией уровня сигналов ограничения исходных синусоидальных сигналов, поступающих на входы блоков 46 и 47. Блок 46 (47) может быть выполнен, например, в соответствии со схемой, изображенной на фиг. 11, и представляет собой компаратор, состоящий из двух операционных усилителей 53 и 54 с порогами переключения  $-U_{\text{пор}}$  и  $+U_{\text{пор}}$ . Постоянные напряжения, значения которых равны указанным порогам переключения, поступают через делитель напряжения на входы Вх 2 и Вх 3, а на вход Вх 1 компаратора поступает (с выхода блока 46 или 47) обрабатываемый синусоидальный сигнал (см. фиг. 11). При этом на выходах операционных усилителей 53 и 54 формируются прямоугольные импульсы, присутствующие в

момент прохождения продолжительной полуволны синусоидального сигнала на выходе усилителя 53, а в момент прохождения отрицательной полуволны – на выходе усилителя 54. Указанные прямоугольные импульсы присутствуют только в течение времени, когда значения полуволны синусоидального сигнала превышают значения порогов переключения  $-U_{\text{пор}}$  и  $+U_{\text{пор}}$ .

Формируемые операционными усилителями 53 и 54 последовательности импульсов поступают соответственно на входы Вх 1 и Вх 2 блока 56, выполняющего логическую функцию И-НЕ, в результате чего на выходе блока 56 присутствует последовательность прямоугольных однополярных импульсов удвоенной (по сравнению со входами ВАх1 и Вх 2 блока 56) частоты следования. Сигналы с блока 48 поступают на ИК-триггер 57 со структурой "мастер-помощник" (микросхема K155TB1) и далее на вход блока 58 измерения длительности импульсов.

Следует отметить, что на фиг. 13 работа блоков 46 и 47 иллюстрируется фрагментами фиг. 13а и 13г, при этом на фиг. 13в условно изображено детектирование синусоидального сигнала, однако указать на фиг. 9, где изображен блок 41, точку, в которой сигнал имеет форму, соответствующую фиг. 13в, невозможно, так как внутри операционных усилителей 53 и 54 осуществляется несколько операций над сигналами, вследствие чего сигналы на их входах соответствуют фиг. 13б, а сигналы на их выходах – фиг. 13г.

Заявляемое устройство работает следующим образом.

Блоки 18, 19 и 20, 21 возбуждают колебания патрубков 16 и 17 вокруг оси М-М (фиг. 1) с частотой, соответствующей частоте сигнала, формируемого генератором 42. При этом, вследствие пересечения магнитными полями магнитных систем 29, 31 и 30, 32 секций обмоток соответственно чувствительных катушек 27 и 28 (см. фиг. 5, 6, 7), в последних индуцируется ЭДС, обеспечивающая поступающие на вход Вх 2 блока 43 и на входы блоков 44 и 45 сигналов синусоидальной формы.

При отсутствии расхода  $Q$  измеряемой среды, заполняющей патрубки 16 и 17, фазовый сдвиг  $\Delta\varphi$  между сигналами  $U_{27}$  и  $U_{28}$ , формируемыми в обмотках катушек 27 и 28, равен нулю ( $\Delta\varphi = 0$ ) (см. фиг. 13а). При этом сигналы, присутствующие на выходах нормирующих блоков 44 и 45, изображены на фиг. 13б. При прохождении через блоки 46 и 47 нормированные по амплитуде сигналы (имеющие взаимный фазовый сдвиг  $\Delta\varphi = 0$ )

сравниваются на компараторах с порогами ограничения  $+U_{пор46}$  и  $+U_{пор47}$  (эта операция изображена на фиг. 13в, причем отрицательная полуволна сигналов изображена детектированной) и обрабатываются на блоках 56 логической операции И-НЕ (см. фиг. 11), в результате чего сигналы на выходах блоков 46 и 47 соответствуют осциллограммам фиг. 13г и фиг. 13д. При этом прямоугольные импульсы последовательности на выходе блока 46 более широкие, чем импульсы последовательности на выходе блока 47, а передние и задние фронты импульсов последовательности  $U_{46}$  равноудалены соответственно от передних и задних фронтов импульсов последовательности  $U_{47}$ , т.е.  $\Delta t_1 = \Delta t_2$ . Обе последовательности импульсов  $U_{46}$  и  $U_{47}$  поступают соответственно на входы  $Bx1$  и  $Bx2$  блока 48 и, в результате выполнения логической операции ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, на выходе блока 48 присутствует последовательность импульсов  $U_{48}$  (см. фиг. 13е), в которой все импульсы имеют равную протяженность во времени ( $\Delta t = \Delta t_1 = \Delta t_2$ ), а время паузы между импульсами зависит от выбора значения  $U_{пор46}$  и  $U_{пор47}$  и может быть, в частности, выбранным равным по значению времени протяженности импульса.

При наличии расхода  $Q$  измеряемой среды последняя протекает через устройство по каналам, сильфонам и патрубкам в соответствии со схемой, изображенной на фиг. 8. Возбуждение противофазных колебаний патрубков 16 и 17 относительно оси М-М (что обеспечивается подачей синфазных токов в обмотки блоков 18 и 19, 20 и 21) и одновременное наличие расхода  $Q$  измеряемой среды вызывают появление действующего на измеряемую среду (жидкость) ускорения Кориолиса, направление действия которого изменяется с частотой возбуждающих колебаний  $\omega_b$  (см. фиг. 12а), а фаза сдвинута относительно возбуждающих колебаний  $\omega_b$  на угол  $90^\circ$ . При этом патрубки 16 и 17 колеблются относительно соответственно осей L-L и F-F (см. фиг. 1) с угловой скоростью  $\omega_b$  (см. фиг. 12а). Характер движения патрубков рассмотрим на примере движения патрубка 16. Допустим, что под действием возбуждающей силы патрубок 16 отклонился в некоторое крайнее положение (см. фиг. 12а) на угол  $\alpha$  и занимает положение, обозначенное 16'. При вращении патрубка 16 вокруг оси М-М в направлении, обозначенном на фиг. 12а стрелкой K, точки D и E, принадлежащие патрубку 16, переме-

щаются по окружности G и, одновременно, вследствие появления ускорения Кориолиса, точка D перемещается по окружности  $R_1$ , а точка E – по окружности  $R_2$ . При этом, если условно заменить силу Кориолиса постоянной эквивалентной силой, значение которой равно амплитудному значению силы Кориолиса, и одновременно исключить возбуждающие колебания, то положение патрубка 16 10 соответствовало бы отклонению на угол  $\beta$ , обозначенному на фиг. 12а позицией 16''. Таким образом, очевидно, что точки D и E участвуют в сложном движении в двух плоскостях, причем:

15 – линейные скорости точек D и E в плоскости окружности G обусловлены возбуждением патрубка 16 блоками 18 и 19 и обозначены на фиг. 12б и фиг. 12в соответственно  $V_{BD}$  и  $V_{BE}$ ;

20 – линейные скорости точек D и E в плоскостях соответственно окружностей  $R_1$  и  $R_2$  обусловлены эффектом Кориолиса и обозначены на фиг. 12б и фиг. 12в  $V_{KD}$  и  $V_{KE}$ :

25 – сложение линейных скоростей движения точек D и E (с учетом того обстоятельства, что скорости точек D и E в плоскости окружности G находятся в противофазе) отображено на фиг. 12б и фиг. 12в (соответственно  $V_{BD} + V_{KD}$  и  $V_{BE} + V_{KE}$ ) и показывает, что между полными скоростями точек D и E

30 существует сдвиг по фазе  $\Delta\varphi$ , причем величина  $V_{BE} + V_{KE}$  опережает по фазе величину  $V_{BD} + V_{KD}$ , а величина  $V_{BD} + V_{KD}$  отстает по фазе от величины  $V_{BE}$ .

35 Рассмотрим, как зависит фазовый сдвиг  $\Delta\varphi$  от амплитудного значения величины  $V_{KA}$ , т.е. как зависит фазовый сдвиг от значения расхода  $Q$ , поскольку известно, что сила, действующая на патрубок 16, прямо пропорциональна расходу  $Q$  измеряемой среды, а следовательно, прямо пропорциональны значению расхода  $Q$  амплитудные значения отклонения, скорости перемещения и ускорения патрубка 16 при его колебательном движении относительно оси L-L под действием силы, вызванной эффектом Кориолиса (торсионные элементы 11-14 (см. фиг. 1) имеют линейные характеристики жесткости).

40 45 50 55 Закон изменения величины  $V_b$  можно записать следующим образом:

$$V_b = V_{BA} \cdot \sin \varphi,$$

где  $V_{BA}$  – амплитудное значение скорости движения точек D и E при их движении по окружности G;

55  $\varphi$  – аргумент, характеризующий фазу колебаний системы.

Закон изменения величины  $V_B$  может быть записан следующим образом:

$$V_K = V_{KA} \cdot \cos \varphi,$$

где  $V_{KA}$  – амплитудное значение скоростей движения точек D и E при их движении по окружностям  $R_1$  и  $R_2$ ;

$\varphi$  – см. выше.

Законы изменения величин  $V_{BE} + V_{KE}$  и  $V_{BD} + V_{KD}$  могут быть записаны следующим образом:

$$V_{BE} + V_{KE} = V_{BA} \cdot \sin \varphi + V_{KA} \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

$$V_{BD} + V_{KD} = -V_{BA} \cdot \sin \varphi + V_{KA} \cdot \cos \varphi. \quad (2)$$

Чтобы определить, как соотносятся фазы величин, характеризующихся выражениями (1) и (2), с фазой возбуждающих колебаний  $V_B$ , определим фазы экстремальных точек выражений (1) и (2), для чего определим производные зависимостей (1) и (2) и приравняем их к нулю

$$(V_{BE} + V_{KE})' = V_{BA} \cdot \cos \varphi - V_{KA} \cdot \sin \varphi \quad (3)$$

$$(V_{BD} + V_{KD})' = -V_{BA} \cdot \cos \varphi - V_{KA} \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

$$V_{BA} \cdot \cos \varphi - V_{KA} \cdot \sin \varphi = 0 \quad (5)$$

$$-V_{BA} \cdot \cos \varphi - V_{KA} \cdot \sin \varphi = 0 \quad (6)$$

Определим, при каких значениях  $\varphi$  выполняются равенства (5) и (6).

$$\frac{V_{BA}}{V_{KA}} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi_1 \quad (7)$$

$$\frac{-V_{BA}}{V_{KA}} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi_2 \quad (8)$$

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg} \frac{V_{BA}}{V_{KA}} \quad (9)$$

$$\varphi_2 = -\operatorname{arctg} \frac{V_{BA}}{V_{KA}} \quad (10)$$

Анализ осциллограмм показывает (см. фиг. 12б и фиг. 12в), что амплитудные значения (экстремальные точки) зависимости (1) и (2) имеют в тех интервалах оси абсцисс, где функции  $\pm V_{BA} \cdot \sin \varphi$  и  $V_{KA} \cdot \cos \varphi$  имеют одинаковые знаки. Следовательно, исследовать характер изменения зависимостей (9) и (10) следует только в интервалах оси абсцисс, где функции  $\pm V_{BA} \cdot \sin \varphi$  и  $V_{KA} \cdot \cos \varphi$  имеют одинаковые знаки. Поскольку функции, изображенные на фиг. 12б и

фиг. 12в, периодические, то целесообразно рассмотреть интервалы изменения аргумента от  $-\pi$  до  $\pi$ .

В интервале значений аргумента  $-\pi$  ...

5  $-\pi/2$  экстремальные точки функции (2) отсутствуют, а функция (1) имеет экстремальную точку. При стремлении величины  $V_{KA}$  к нулю (что соответствует отсутствию расхода  $Q$  измеряемой среды) значение отношения (7) стремится к бесконечности, при этом фаза  $\varphi_1$  (см. фиг. 12г) стремится к значению  $-\pi/2$  (т.е. кривая  $V_{BE} + V_{KE}$  стремится занять положение кривой  $V_{BE}$ ). При возрастании величины  $V_{KA}$  что соответствует увеличению расхода  $Q$  измеряемой среды, значение отношения (7) стремится к нулю, при этом фаза  $\varphi_1$  (см. фиг. 12г) стремится к значению  $-\pi$ , т.е. возрастает фазовый сдвиг  $\Delta\varphi_1$  между кривыми  $V_{BE} + V_{KE}$  и кривой  $V_{BE}$  (см. фиг. 12б).

10 В интервале  $-\pi/2$  ... 0 экстремальные точки функции (1) отсутствуют, а функция (2) имеет экстремальную точку. При стремлении величины  $V_{KA}$  к нулю значение отношения (8) стремится к минус бесконечности, при этом фаза  $\varphi_2$  (см. фиг. 12г) стремится к значению  $-\pi/2$  (т.е. кривая  $V_{BD} + V_{KD}$  стремится занять положение кривой  $V_{BD}$ ). При возрастании величины  $V_{KA}$  значение отношения (8) стремится к нулю (но по отрицательной ветви абсцисс), при этом фаза  $\varphi_2$  (см. фиг. 12г) стремится к значению нуля, т.е. возрастает фазовый сдвиг  $\Delta\varphi_2$  между кривыми  $V_{BD} + V_{KD}$  и кривой  $V_{BD}$  (см. фиг. 12в).

15 В интервале значений аргумента 0 ...  $\pi/2$  экстремальные точки функции (2) отсутствуют, а функция (1) имеет экстремальную точку. При стремлении величины  $V_{KA}$  к нулю значение отношения (7) стремится к бесконечности, при этом значение фазы  $\varphi_1$  (см. фиг. 12г) стремится к значению  $\pi/2$ . При возрастании величины  $V_{KA}$  значение отношения (7) стремится к нулю (см. фиг. 12г), при этом значение фазы  $\varphi_1$  стремится к нулю, т.е. возрастает фазовый сдвиг  $\Delta\varphi_1$  между кривой  $V_{BE} + V_{KE}$  и кривой  $V_{BE}$  (см. фиг. 12б). В интервале значений аргумента  $\pi/2$  ...  $\pi$  экстремальные точки функции (1) отсутствуют, а функция (2) имеет экстремальную точку. При стремлении величины  $V_{KA}$  к нулю значение отношения (8) стремится к минус бесконечности, при этом значение фазы  $\varphi_2$  (см. фиг. 12г) стремится к значению  $\pi/2$ . При возрастании величины  $V_{KA}$  значение отношения (8) стремится к нулю, но по отрицательной ветви оси абсцисс, а значение фазы  $\varphi_2$  стремится к значению  $\pi$  (см. фиг. 12в).

Анализ графиков, приведенных на фиг. 12б и 12в, показывает, что кривая  $V_{BE} + V_{KD}$  с возрастанием значения  $V_{KA}$  смещается вправо относительно исходной кривой  $V_{BD}$ , а кривая  $V_{BE} + V_{KE}$  с возрастанием значения  $V_{KA}$  смещается влево относительно кривой  $V_{BE}$ . Поскольку исходные кривые  $V_{BD}$  и  $V_{BE}$  смещены относительно друг друга на угол, равный  $\pi$ , то фазовый сдвиг  $\Delta\phi$  между кривыми  $V_{BD} + V_{KD}$  и  $V_{BE} + V_{KE}$  после условной инверсии одной из кривых равен

$$\Delta\phi = \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2.$$

На основании вышеизложенного следует, что при направлении течения жидкой среды, обозначенном стрелкой  $Q$  на фиг. 1, и наличии возбуждающих колебаний в патрубки 16 и 17 колеблются таким образом, что их части, на которых закреплены магнитные системы 30 и 32, опережают по фазе части, на которых закреплены магнитные системы 29 и 31. Таким образом, с обмоток чувствительных катушек 27 и 28 на входы блоков 44 и 45 поступают сигналы  $U_{27}$  и  $U_{28}$ , изображенные на фиг. 14а. Следует отметить, что трудно практически обеспечить идентичность характеристик датчиков скорости, образованных магнитными системами 29, 31 и 30, 32 соответственно с чувствительными катушками 27 и 28, вследствие чего реальные сигналы скорости с катушек 27 и 28 несколько отличаются по амплитуде, что и изображено на фиг. 14а (13а). Блоки 44 и 45 осуществляют нормирование сигналов по амплитуде, но не изменяют их фазовые соотношения (см. фиг. 14б). При прохождении через блоки 46 и 47 нормированные по амплитуде сигналы (имеющие взаимный фазовый сдвиг  $\Delta\phi \neq 0$ ) сравниваются на компараторах с порогами ограничения  $\pm U_{пор46}$  и  $\pm U_{пор47}$  (эта операция изображена на фиг. 14в, причем отрицательные полуволны сигналов изображены детектированными) и обрабатываются на блоках 56 логической операции И-НЕ (см. фиг. 11), в результате чего сигналы на выходах блоков 46 и 47 соответствуют осциллограммам фиг. 14г и 14д.

При этом прямоугольные импульсы последовательности на выходе блоков 46 более широкие, чем импульсы последовательности на выходе блока 47, передние и задние фронты импульсов  $U_{47}$  неравноудалены от соответственно передних и задних фронтов импульсов  $U_{46}$ , т.е.  $\Delta t_1 \neq \Delta t_2$ . Последовательности импульсов  $U_{46}$  и  $U_{47}$  поступают соответственно на входы  $B_1$  и  $B_2$  блока 48, и в результате выполнения логи-

ческой операции ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ на выходе блока 48 (см. фиг. 14е) присутствует последовательность импульсов  $U_{48}$ , в которой имеет место последовательное чередование разношироких импульсов, причем изменение ширины импульсов (по сравнению с последовательностью, изображенной на фиг. 13е) пропорционально фазовому сдвигу  $\Delta\phi$ , а, следовательно, значению расхода  $Q$ .

Информация, поступающая с выхода блока 48, может быть обработана с помощью различных средств, например с помощью ИК-триггера (блок 57) со структурой

"мастер-помощник" (микросхема K155TB1), которая включена в соответствии схемой, изображенной на фиг. 16, и срабатывает на передние фронты импульсов последовательности, поступающей на ее вход. Блок 57 (см. фиг. 15) формирует на своем выходе импульс, длительность которого равна сумме длительности импульса и длительности паузы:

$$T_{\xi 1} = T_2 + T_3,$$

$$T_{\xi 2} = T_2 + T_5.$$

Таким образом, в последовательности импульсов, поступающих на вход блока 57, при сохранении неизменным времени  $T_1$  (см. фиг. 13е, 14е, 15), время  $T_{\xi}$  и, следовательно,  $\Delta T$ , соответствующее длительности импульса на выходе блока 57, изменяется пропорционально значению расхода  $Q$  жидкой среды. Измерение длительности импульсов осуществляется блоком 58, выполненный, например, на основе серийного измерителя длительности импульсов, 40 (частотомер электронно-счетный Ч3234А).

К преимуществам заявленного устройства следует отнести:

отсутствие в патрубках напряжений изгиба, что обеспечивается системой торсионных элементов, обеспечивающих угловые перемещения патрубков в двух ортогональных плоскостях, и эластичными герметическими узлами, которые соединяют концы патрубков с каналами, выполненными в раме. Указанное свойство повышает надежность и безопасность работы устройства;

возможность использовать патрубки любой в сечении формы, что, например, при использовании патрубков прямоугольной в сечении формы упрощает крепление чувствительных элементов к патрубкам, т.е. повышает технологичность устройства;

возможность использования для изготовления патрубков толстостенных труб, так

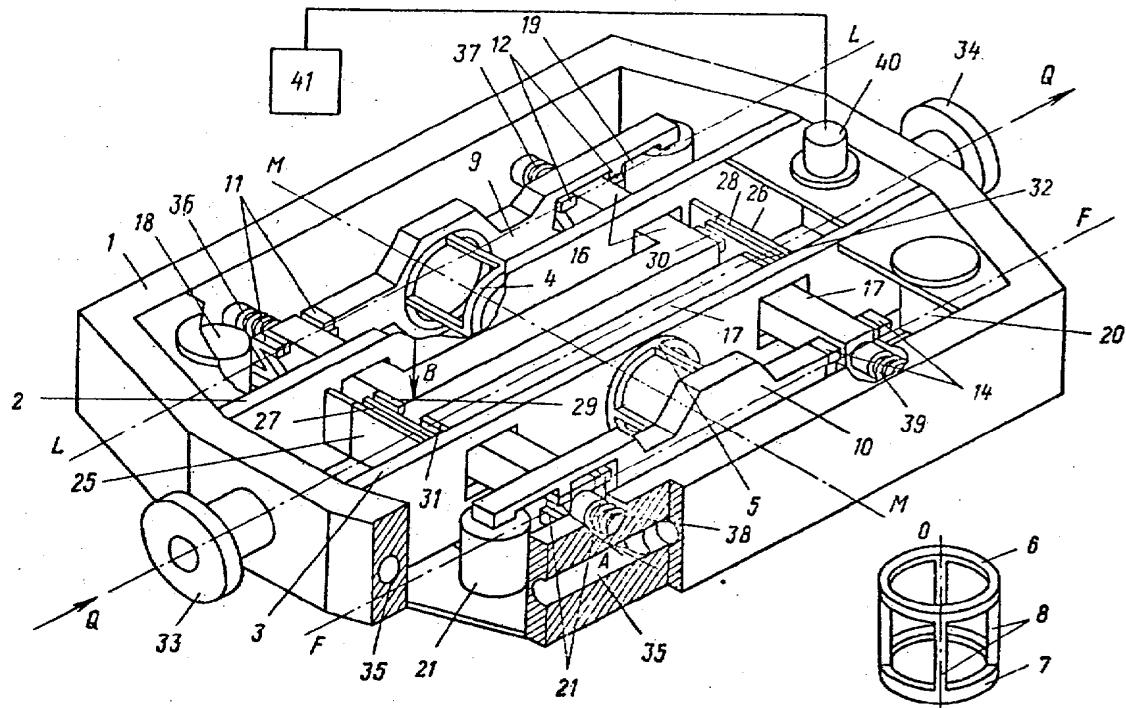
как в заявляемом устройстве патрубки не являются упругими элементами, что повышает надежность и технологичность устройства, а также снижает стоимость устройства;

возможность снижения жесткости колебательной системы патрубков путем изменения жесткости вторых торсионных элементов, что позволяет уменьшить габариты устройства, так как не требует для увеличения чувствительности увеличивать линейные размеры патрубков.

## Формула изобретения

Устройство для измерения массового расхода жидкости, содержащее основание, трубчатый вибратор в виде двух расположенных симметрично в одной плоскости изогнутых патрубков с узлами подвода и отвода потока жидкости и электронный блок измерений и возбуждения колебаний, отличающееся тем, что, с целью повышения надежности и безопасности в работе устройства, в нем трубчатый вибратор выполнен [-образной формы и основа-

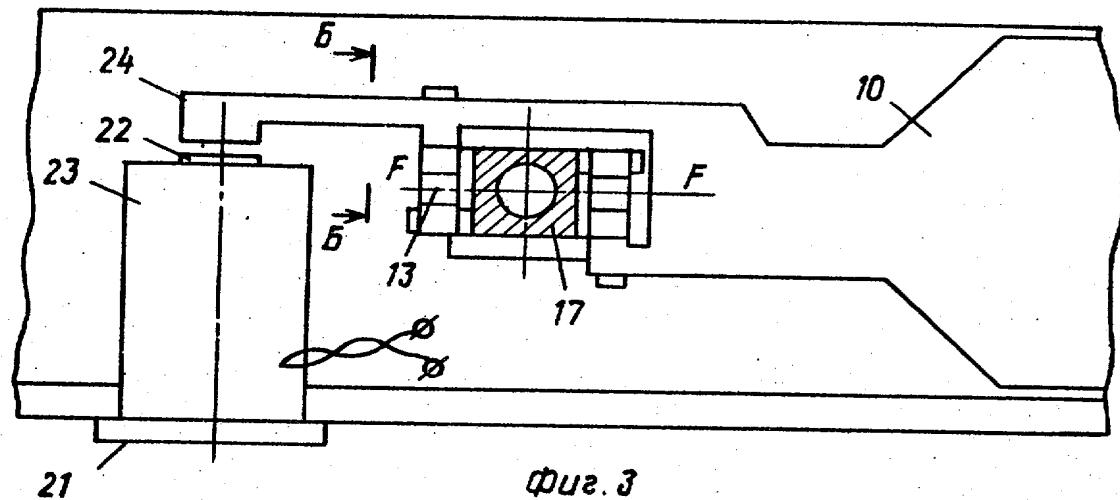
ние – в виде рамы, в стенках которой по периметру выполнен канал, а симметрично относительно продольной оси расположены две полки с окнами, через которые пропущены патрубки [-образного вибратора, концы которых соединены с каналом основания посредством введенных эластичных, герметичных узлов, а перпендикулярно концам патрубков введены кронштейны с торсионными элементами, одни из которых закреплены в средней части кронштейнов и связаны с соответствующими полками основания с возможностью поворота кронштейна в плоскости, перпендикулярной продольной плоскости концов патрубков вибратора, а вторые выполнены Z-образной формы, попарно сгруппированы и одними своими концами жестко закреплены на кронштейнах, а другими – на концах патрубков с двух его противоположных сторон, причем средние части Z-образных торсионных элементов расположены в перекрещивающихся плоскостях с обеспечением возможности поворота концов патрубков в плоскости, перпендикулярной продольной оси кронштейна.



Фиг. 1

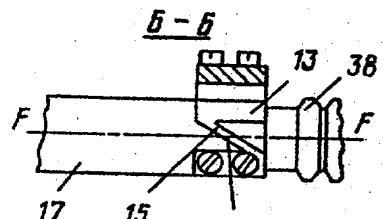
Фиг. 2

## BUÔA

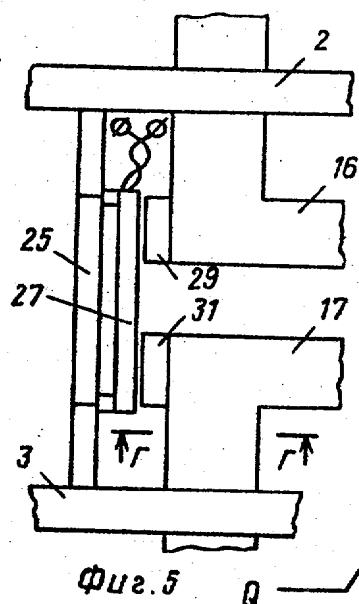


Фиг. 3

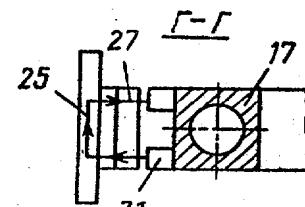
BuðB



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

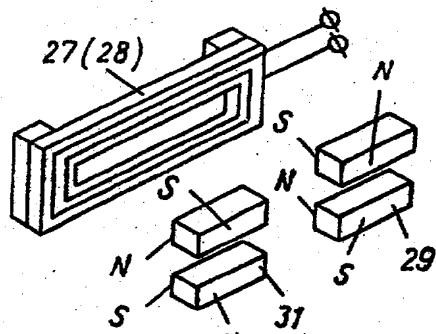
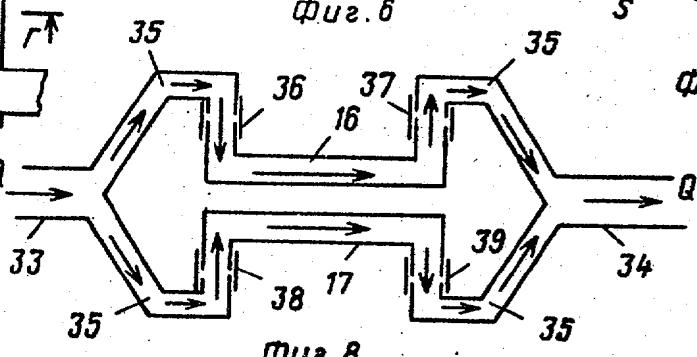
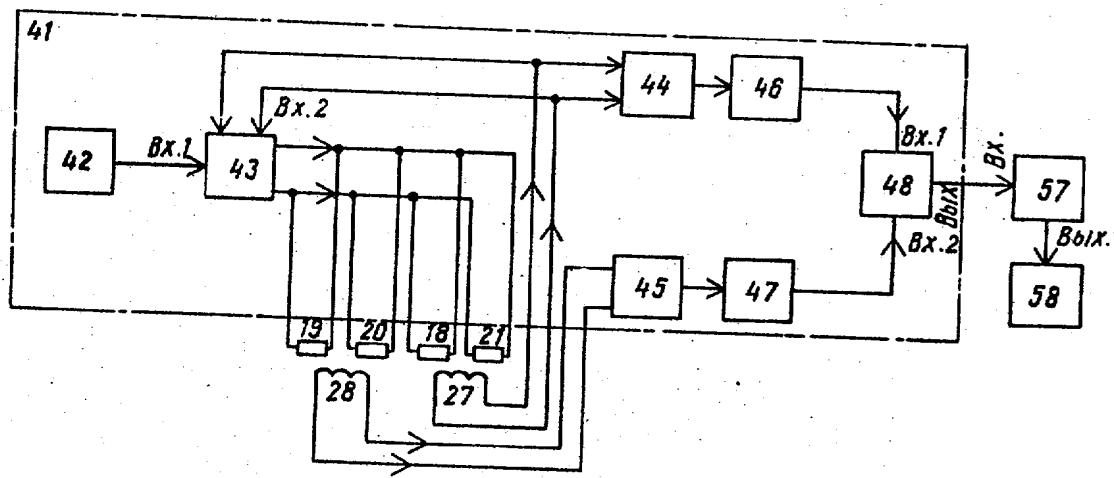


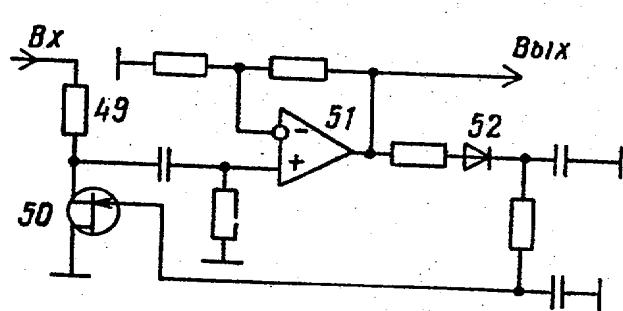
Figure 7



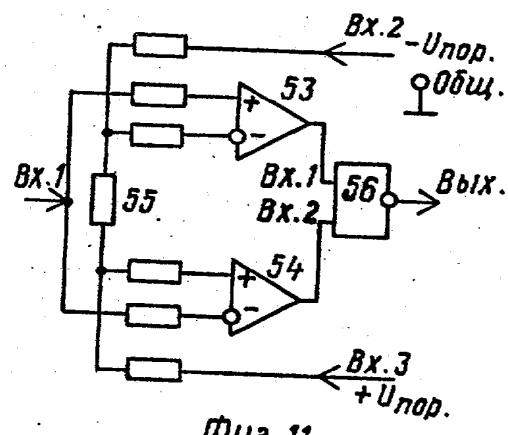
Фиг. 8



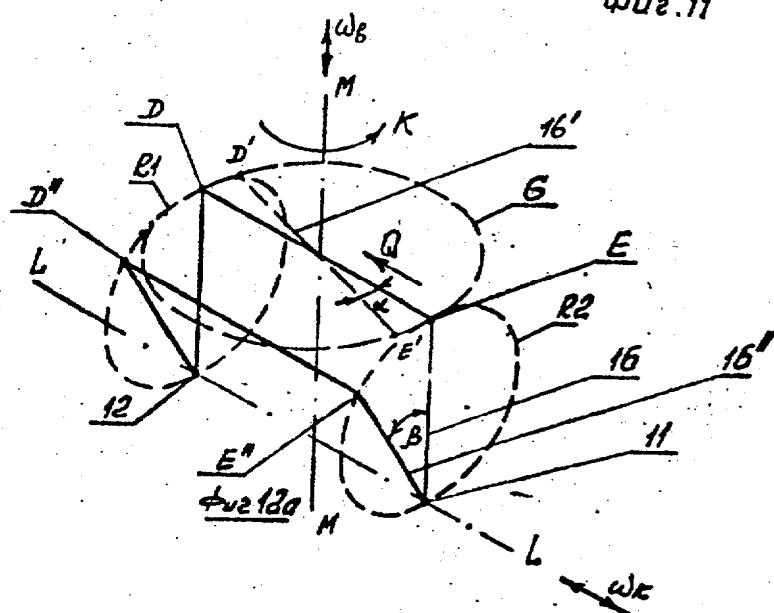
Фиг.9

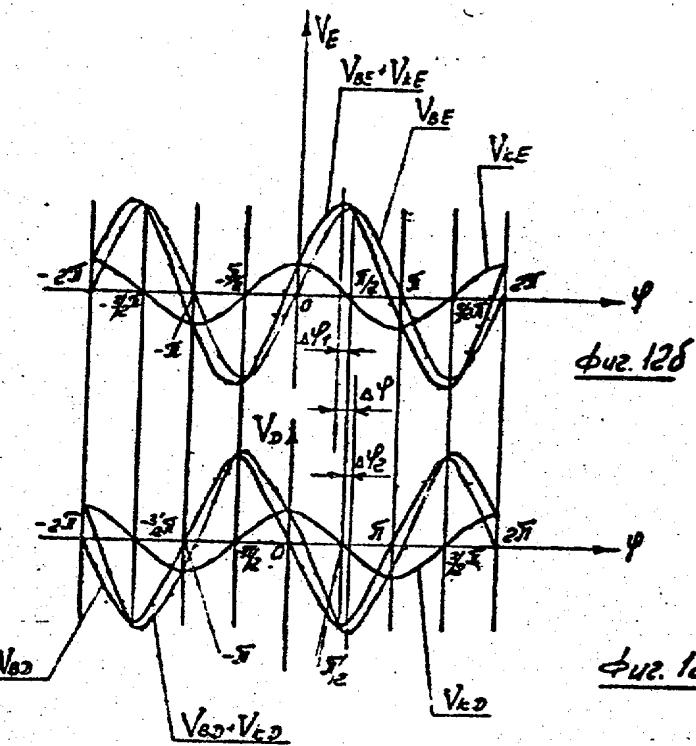


Фиг.10

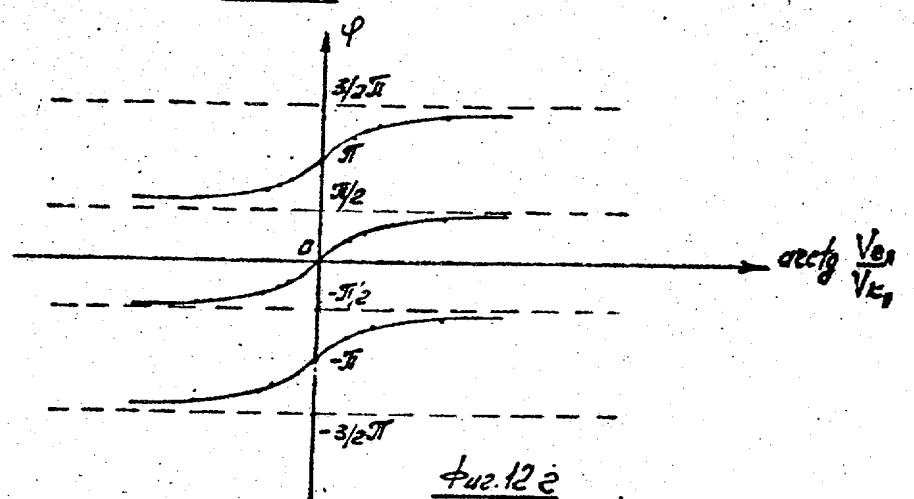


Фиг.11

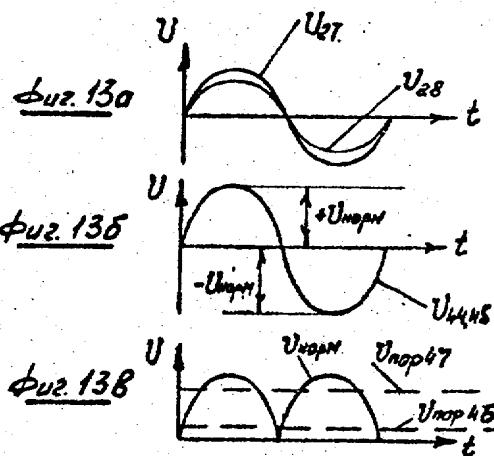




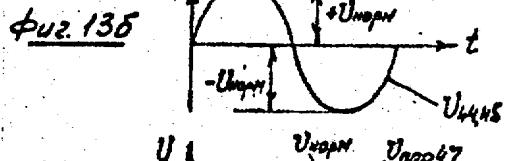
фиг. 128



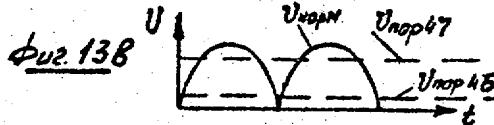
фиг. 129



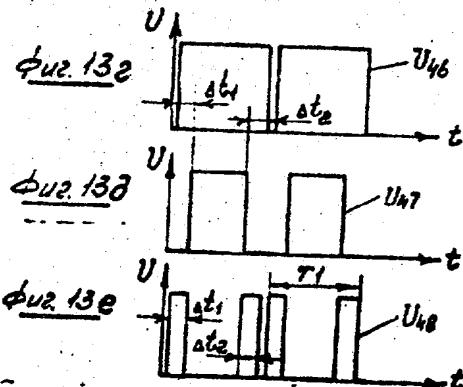
фиг. 130



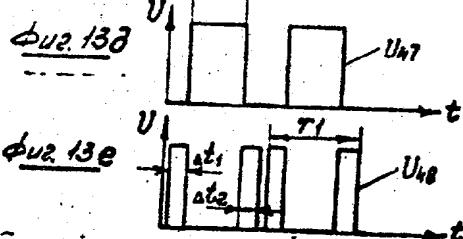
фиг. 135



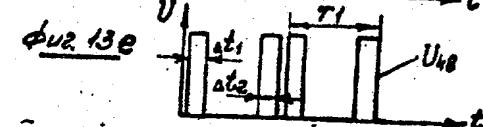
фиг. 138



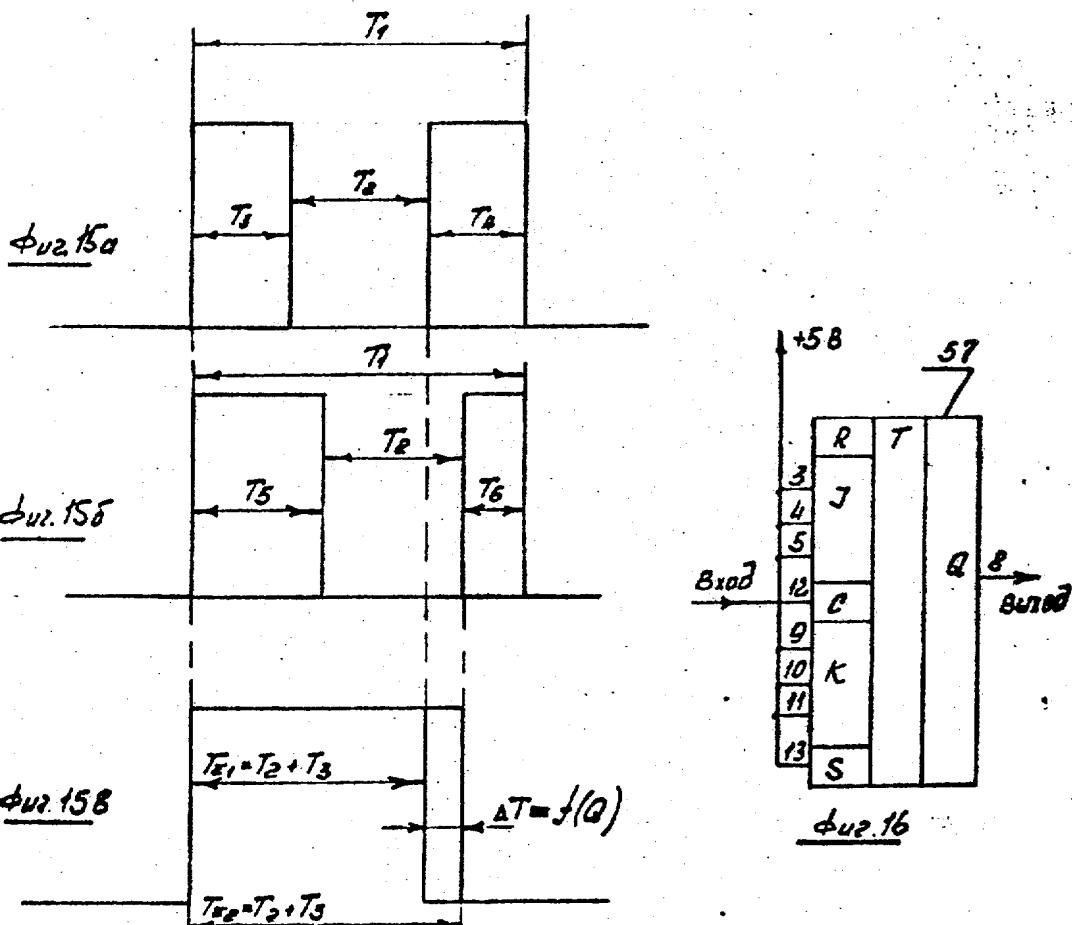
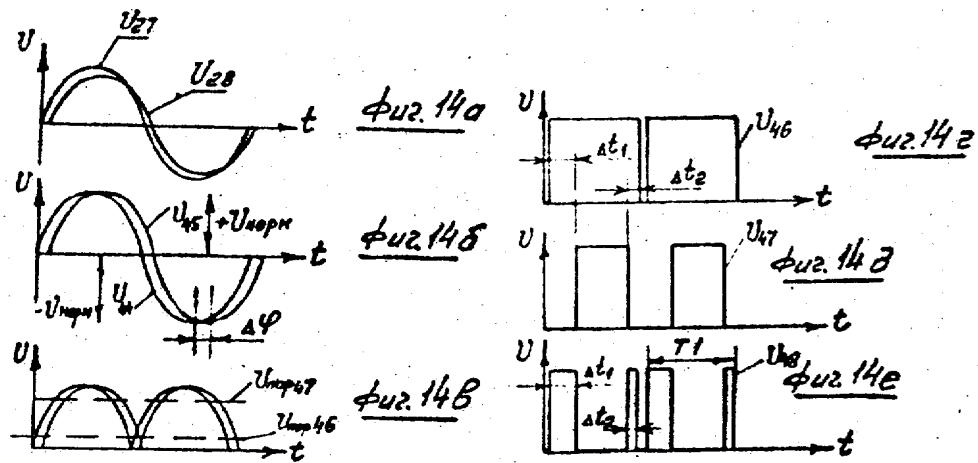
фиг. 132



фиг. 133



фиг. 134



Составитель Д.Зайцев

Редактор А.Бер

Техред М.Моргентал

Корректор О.Густи

Заказ 4182

Тираж

Подписьное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5